
ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ІНФОРМАЦІЙНИХ (INTERNET, INTRANET ТОЩО) ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖАХ

УДК 681.3.021

В.П. КОЖЕМ'ЯКО, В.І. МАЛІНОВСЬКИЙ, М.Г. ТАРНОВСЬКИЙ, Я.І. ЯРОСЛАВСЬКИЙ

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА КЛАСИФІКАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ СУЧАСНИХ ОБ'ЄДНАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ЛІНІЙ ПЕРЕДАВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Анотація. В роботі розглянуто технології та систематизовані технічні показники інформаційно-енергетичних мереж. Проведено аналіз технологій сучасних альтернативних джерел енергії на базі фотоелектричних перетворювачів в складі сучасних сонячних батарей. Проведено класифікаційний аналіз та вдосконалено класифікацію геоінформаційно-енергетичних мереж. Запропоновано підходи до створення нової моделі інформаційних мереж з розподіленими фотоелектричними джерелами живлення.

Аннотация. В работе рассмотрены технологии и систематизированы технические показатели информационно-энергетических сетей. Проведен анализ технологий современных альтернативных источников энергии на базе фотоэлектрических преобразователей в составе современных солнечных батарей. Проведен классификационный анализ и усовершенствована классификация геоинформационно-энергетических сетей. Предложены подходы к созданию новой модели информационных сетей с распределенными фотоэлектрическими источниками питания.

Abstract. In the work the technologies of information-power networks are considered and was systematic of their technical parametr. Conducted analysis of modern alternative renewable technologies of photovoltaic light energy sources. The classification analysis and improved classification of geoinformation-power networks was made. Also was received approach of creation a new model of information networks with distributed photovoltaic power sources.

Ключові слова: геоінформаційно-енергетична мережа; фотоелектричний перетворювач; волоконно-оптичний канал;

ВСТУП

Сфера застосування сучасних мереж постійно розширюється, охоплюючи області від локального оброблення і моніторингу інформаційних параметрів на локальних мобільних платформах до використання для оброблення і передавання в магістральних мережених платформах глобальної мережі Internet та вузькоспеціалізованих інформаційних мереж (ІМ) моніторингу, контролю та передавання просторово-пов'язаних даних (геоінформації) орієнтованих на функціонування в значно рознесеному геопросторі [1].

Останні розробки в області геоінформаційних (ГІС) технологій призвели до появи об'єднаних інформаційних мереж на основі ліній передавання електроенергії. В першоджерелах [2,3] такі мережі отримали назву – геоінформаційно-енергетичні мережі (ГІЕМ), за рахунок того, що в них основні обчислювальні ресурси поєднані із іншими окрім інформаційної, ще й по енергетичній складовій. Основними елементами, з яких складається ГІЕМ є: станція енергозабезпечення, мережеві комутатори, головний сервер в складі центру керування та кінцеві користувачі і пристрої. Це дозволяє реалізовувати інформаційно-енергетичну підтримку всіх апаратних складових і можливість інтерактивного керування, комутації та перенаправлення інформаційних та енергетичних потоків між всіма блоками і вузлами, які входять до складу такої мережі. Разом з цим значно актуалізувались проблеми підвищення інформаційної стабільності та надійності функціонування розподілених комп'ютерних мереж та збереження цілісності та конфіденційності особливо важливих даних. Особливо ця проблема актуальна

для магістральних сегментів розподілених інформаційних мереж та закритих корпоративних мереж. Програмні засоби організації обчислень та передавання даних, таких як GRID-технології [2], віртуальні корпоративні канали VPN (Virtual Point Network) [2] не завжди дозволяють вирішити цю проблему на принципово якісному рівні, оскільки вони використовують цю ж саму не завжди досконалу фізичну архітектуру традиційних каналів на базі мережі Internet.

Метою роботи є порівняльний та класифікаційний аналіз сучасних технологій інформаційно-енергетичних мереж, а також визначення передумов створення нової моделі інформаційних мереж з вищими показниками інформаційної стабільності.

У загальному випадку інформаційна комп'ютерна мережа, а також її різновид – ГІЕМ являє собою сукупність апаратно-програмних засобів і обчислювальних станцій та допоміжного комутуючого, передаючого, ретрансляційного обладнання, яке зв'язано між собою каналами передавання інформації. Як відомо із [3], всі ІМ виконують дві основні важливі інформаційні функції:

1) колективний доступ та оброблення інформації за внутрішніх допомогою обчислювальних структур;

2) передавання інформації між обчислювальною структури, вузлами та іншими компонентами мережі. Всі існуючі інформаційні мережі ґрунтуються на цих основних операціях.

СУЧАСНІ КОМП'ЮТЕРНІ ІНФОРМАЦІЙНІ МЕРЕЖІ НА БАЗІ ВОЛЗ ТА МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Сучасні комп'ютерні інформаційні мережі (ІМ) в тому числі глобальна мережа Internet значно розвинулись в останні роки і мають значні показники продуктивності та пропускної здатності каналів, оскільки обсяги потоків інформації значно зросли в останні роки. Розвиток ІМ пройшов шлях починаючи із 80-х років ХХст. від перших радіорелейних і каналних пристроїв передавання даних із пропускною здатністю в 0.5-1 Кбіт/с та продуктивністю $1\text{--}5\cdot 10^3$ оп./с [2, 3], до найсучасніших комунікаційних мереж та мультисервісних станцій на базі ВОЛЗ. Пропускна здатність в останніх складає 120 – 200 Гбіт/с на канал [4, 5], а продуктивність $10^{12}\text{--}10^{18}$ оп./с [6], що обумовлено високими значеннями оптичних частот (до $2\cdot 10^{14}$ Гц) та активним використанням методів розпаралелювання обчислювального процесу та інформаційних потоків.

Завдяки застосуванню волоконно-оптичних середовищ передавання інформації, в сучасних мережах набули комплексного застосовування ряд сучасних технологій ущільнення каналів TDM, FDM і WDM [4], підтримки більшості протоколів обміну даними на каналному та мереженому рівні: IGMP, CLNP, ICMP, IKE, IP, VoIP, XDSL, Ethernet, TCP/IP, FDDI, FiberChannel, IEEE 802.2XX, IEEE 802.1XX. Це в сукупності із високоефективними технологіями побудови апаратних засобів на ВОЛЗ дозволяє будувати високошвидкісні інформаційні мережі на базі стандартів організації мереж SDH (SONET) та ATM і мережених мультисервісних станцій (платформ).

Сучасна цифрова мультисервісна платформа мережі ВОЛЗ – це складний технічний комплекс, в який входить група приймачів та передавачів, оптичні мультиплексори та демультиплексори, волоконно-оптичні пристрої введення-виведення, система автоматичного резервування каналів та апаратної агрегації (обробки) інформаційних потоків, системи дистанційного управління і сигналізації, контрольно-вимірювальна апаратура, пристрої службового зв'язку та система електроенергетичного живлення.

На сучасному етапі розвитку ІМ розповсюджені дві найбільш поширені архітектури інформаційних мереж на основі ВОЛЗ: AON (All Optical Network – повністю оптичні мережі, які передбачають передачу оптичних сигналів без перетворення їх в електричну форму), PON (Passive Optical Network – пасивні оптичні мережі) [4]. Різниця полягає в тому, що в архітектурі AON передбачено використання активних проміжних вузлів (активних оптичних ретрансляторів, регенераторів та ін., які потребують енергетичних затрат), а в архітектурі PON використовуються тільки пасивні проміжні вузли (розгалужувачі, об'єднувачі, атенуатори), які не потребують зовнішніх затрат енергії. При застосуванні архітектур AON, PON з протоколами Ethernet, FDDI, FiberChannel або ATM вони набувають визначеного характеру і розглядаються окремо, наприклад, Ethernet PON – EPON [4]. Використання волоконно-оптичного середовища вигідно не тільки в магістральних сегментах ІМ, але й також в локальних кінцевих їх ланках комп'ютерних обчислювальних систем для вирішення задач підключення кінцевих пристроїв між собою. Високі значення пропускної здатності та можливість масштабованості каналів передавання інформації в сучасних ІМ на базі ВОЛЗ обумовлено найбільшою пропускною здатністю оптоволоконного середовища (широка смуга пропускання $1.5\text{--}2\cdot 10^{14}$ Гц), малому загасанню ($<0.01\text{--}0.02$ Дб/км), а також малому значенню дисперсії ($0.5\text{--}2.5$ пс/нм·км.), що для сучасних каналів дозволяє отримати частотну смугу пропускання до $2\cdot 10^{12}$ – $2.5\cdot 10^{13}$ Гц та відповідну теоретично можливу символічну швидкість передавання від 200 Гбіт/с до 1,5 Тбіт/с в каналі на основі одномодових оптичних волокон. Також, до основних переваг волоконно-оптичних каналів і мереж, окрім високої символічної швидкості передавання даних на їх основі можна також віднести захищеність каналів та

високу дальність передачі без регенерації.

Для передачі даних в обчислювальних комплексах сучасних мереж та між їх окремими структурними вузлами сьогодні використовують декілька основних високошвидкісних волоконно-оптичних каналів, до числа яких належать [2-4]: FibreChannel (FC), Optical Ethernet (OE), Fiber Distributed Data Interface (FDDI). Розглянемо основні особливості кожного з них.

Fibre Channel (FC) (волоконний канал) – волоконно-оптичний високошвидкісний стандарт каналів передачі даних, що призначений для організації інформаційних зв'язків між потужними комп'ютерними станціями, серверами і системами зберігання інформаційних та телекомунікаційних мереж за типом підключення – точка-точка (Point-to-Point). Канали Fibre Channel зазвичай використовують одне волоконне середовище та підтримують передавання інформації із швидкістю від 100 Мбіт/с до 10 Гбіт/с на відстані до 70 км. Перевагами каналу FC є порівняно висока швидкість і дальність передачі даних, а також економія ресурсів при використанні одного волоконно-оптичного каналу для побудови топології мереж на основі FC (рис. 1).

Канали Fibre Channel були створені в 1985 році, і тільки в 1994 р був затверджений асоціацією ANSI як стандарт каналів зв'язку для IM на заміну традиційним лініям із масивними 50-парними кабелями. Першочерговими задачами створення Fibre Channel були підвищення дальності та спрощення підключення ліній передачі, а не підвищення швидкості.

Недоліками є відсутність енергетичної автономності регенераторів на ділянках ВОЛЗ, що зменшує стабільність при застосуванні його в швидкодіючих магістральних каналах IM.

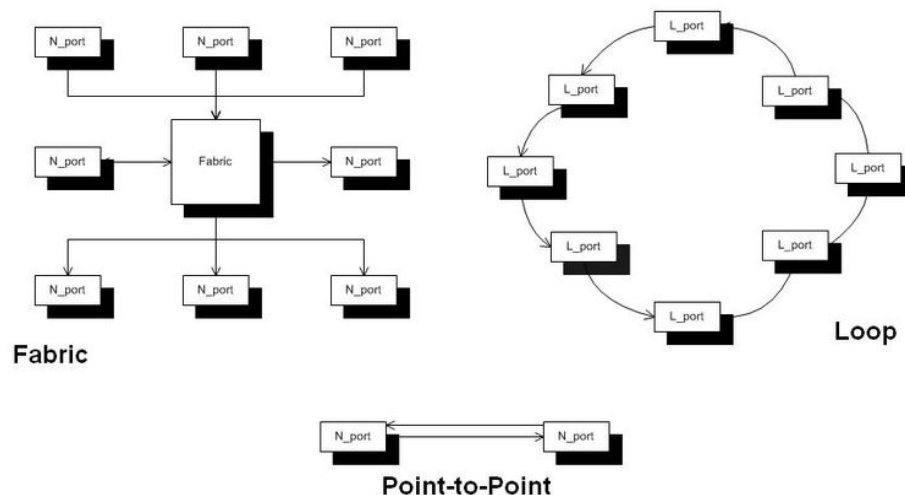


Рис.1. Основні топології стандарту Fibre Channel (FC) [3]

В залежності від топології (рис. 1) і типів пристроїв порти поділяються на декілька типів (згідно рис.1.):

- порти вузлів:
 - N_Port (Node port), порти пристроїв підтримки топології FC-P2P («точка-точка») або FC-SW (с комутатором);
 - NL_Port (Node Loop port), порти підтримки топології FC-AL (arbitrated loop – керована петля);
 - порти комутатора/маршрутизатора (для топології FC-SW);
 - F_Port (Fabric port), центральний порт (switched fabric – комутувана зв'язна архітектура).
- Використовується при підключенні портів типу N_Port до комутатора, без підтримки топології петлі;
- FL_Port (Fabric Loop port), центральний порт з підтримкою топології петлі. Використовується для підключення портів типу NL_Port до комутатора.
 - E_Port (Expansion port), порти розширення. Використовується для з'єднання комутаторів;
 - EX_port порт для з'єднання FC-маршрутизатора и FC-комутатора. TE_port (Trunking Expansion port (E_port)) внесений в Fibre Channel компанією CISCO SYSTEMS [4], і зараз прийнятий як стандарт. Це розширений ISL або EISL TE_port, який здійснює маршрутизацію багатьох потоків в мережах VSANs (Virtual SANs).

Fiber Distributed Data Interface (FDDI) – волоконно-оптичний канал передачі даних в розподілених IM (рис. 2), який забезпечує передачу інформації зі швидкістю від 100 Мбіт/с – 1 Гбіт/с — для багатомодового оптоволокна та 10-80 Гбіт/с – для одномодового на довжинах хвиль 1310 нм та 1550

нм. Дальність передачі інформації знаходиться в межах 1 – 40 км, а для експериментальних лабораторних зразків – до 120 км.

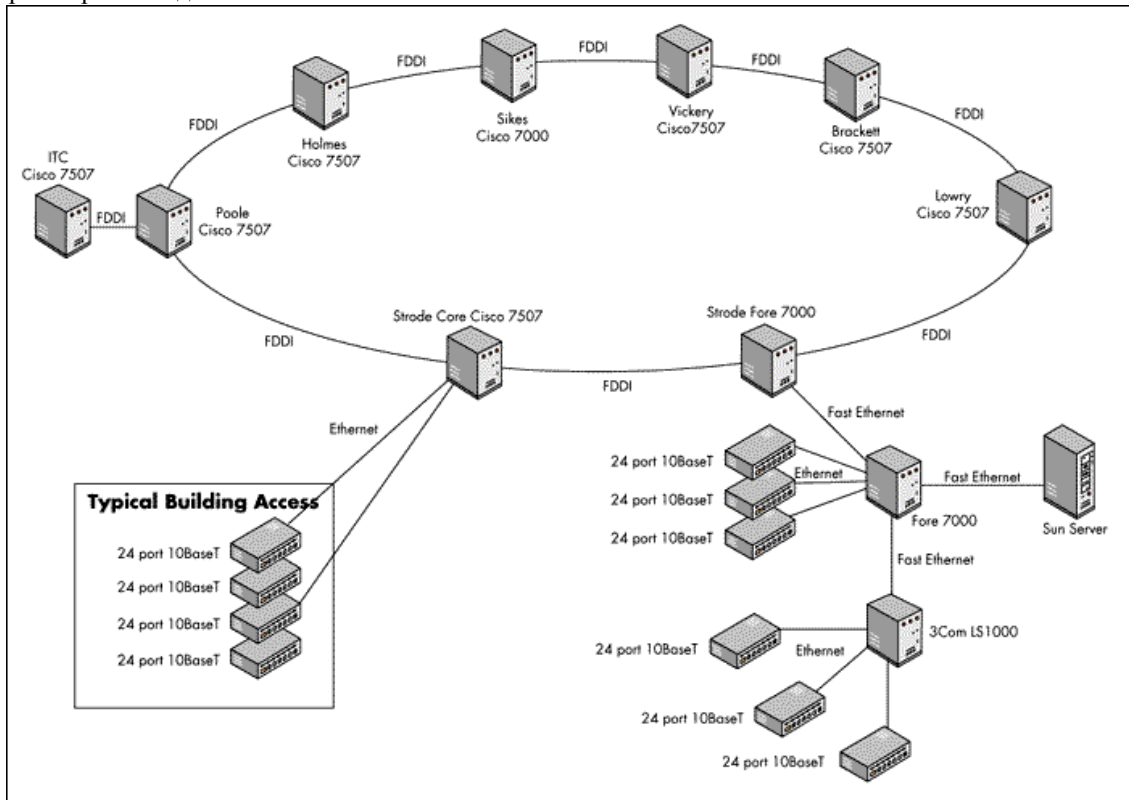


Рис.2. Кільцева топологія ІМ на базі волоконно-оптичного каналу Fiber Distributed Data Interface (FDDI) [4]

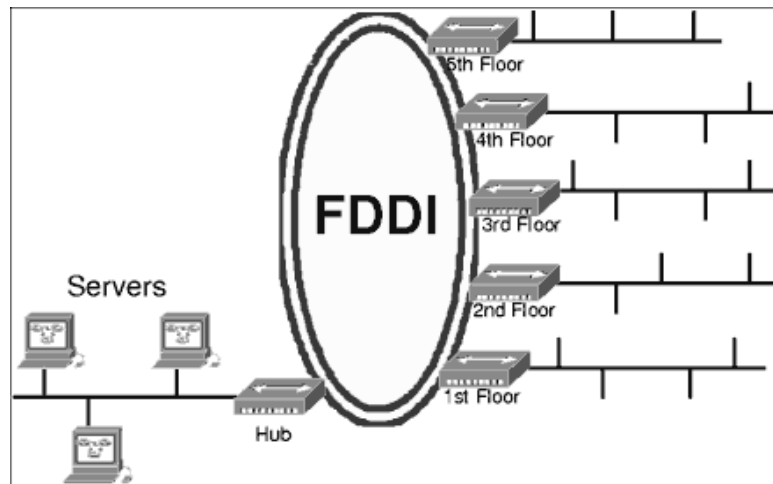


Рис.3. Підключення кінцевих пристроїв до мережі на базі каналів FDDI по топології кільце

Волоконно-оптичний стандарт каналів передачі даних FDDI на програмному рівні являє собою набір протоколів ANSI для передачі цифрових даних по волоконно-оптичним лініях. FDDI інформаційні мережі (по аналогії з стандартом IEEE 802.5) по протоколу Token Ring (подвійного кільця) підтримують швидкість передачі даних в мережі до 100-Мбіт/с – 120Гбіт/с. Інформаційні мережі на базі FDDI, як правило, використовуються в якості магістралей через підтримку високої пропускної здатності і великих ретрансляційних ділянок. Специфікація стандарту FDDI на базі провідників мідної витой пари (канали CDDI) є аналогом волоконно-оптичної версії, із передачею інформації по кручений мідній витій парі до 100 Мбіт/с.

Перевагами інтерфейсу FDDI є вища дальність передачі та швидкість, а також економія ресурсів при використанні одного волоконно-оптичного каналу. Основним недоліком, пов'язаним із застосуванням у високостабільних ІМ є недостатня енергетична автономність вузлів і проміжного обладнання (ретрансляторів та регенераторів ділянок ВОЛЗ).

Optical Ethernet (OE) – волоконно-оптичний канал передачі даних, який застосовується при побудові локальних LAN та регіональних мереж MAN та передбачає передавання даних на швидкостях від 100 Мбіт/с до 10 Гбіт/с на відстані від 1 до 10 км на довжинах хвиль 1310 нм – для попередніх версій та 1550 нм – для останніх, в яких використовується одномодове оптичне волокно. Останні версії інтерфейсу Optical Ethernet 100GE передбачають передавання інформації з швидкістю до 100 Гбіт/с на відстань до 70 км без ретрансляції та підсилення і є одними основних при побудові магістралей глобальних мереж.

Недоліком також є обмежені функціональні можливості та низька стабільність апаратури по енергетичній складовій.

Розглянувши їх останні версії і основні особливості побудови, можна привести параметри найпоширеніших волоконно-оптичних каналів в у таблиці 1.

Таблиця 1.

Параметри сучасних каналів ВОЛЗ для комп'ютерних мереж

Волоконно-оптичний канал	Кількість каналів	Максимальна швидкість передачі інформації, Мбіт/с	Максимальна дальність передачі даних, км
Fibre Channel	2	100 – 10 000	70
FDDI	2	1000 – 1000	70 (120)
Optical Ethernet	2	100 – 10 000	40

Практично усі існуючі топології сучасних волоконно-оптичних інформаційних мереж та геоінформаційно-енергетичних мереж на їх основі активно використовуються для побудови складної мережевої ієрархії інформаційних комунікацій сучасного інформаційного простору та глобальної мережі Internet а також виділених корпоративних мереж.

Серед основних світових виробників апаратних і програмних продуктів інформаційних мереж зв'язку можна відзначити такі: Cisco Systems Inc., Nortel Networks, OptiStar, Alkatel, 3Com Corp., Bay Networks Inc., Cisco Systems, Compaq Computer Corp., Granite Systems Inc., Intel Corporation, LSI Logic, Packet Engines Inc., Sun Microsystems Computer Company, UB Networks, VLSI Technology, Siemens, Lucent, TeraBeam, Marconi Communications, JDS Uniphase, ADC, Sunx and GSI-Lumonics та інші. Кожен з них має свою, досить широку лінійку продуктів для визначеного кола задач використання та з технічними характеристиками орієнтованими на вузьку область застосування, наприклад магістральні платформи, такі як Opterra Long Haul 1600-1900 (Nortel Networks) із пропускнуою здатністю 800Гбіт/с та з 80 волоконно-оптичними каналами (по 10 Гбіт/с на кожний), Optics Metropolis (Alkatel) із пропускнуою здатністю 120Гбіт/с, з 4000 інформаційними каналами як на основі оптичного волокна так і кабельних коаксіальних ліній.

ТЕХНОЛОГІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ОБ'ЄДНАНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ

До найближчих промислових аналогів ГІЕМ можна віднести технологію HomePlug (PLC, Power Line Communications) [6, 7], яка базується на створенні ІМ за допомогою вже існуючих наявних і поширених ліній Єдиної Енергосистеми. Потіки даних через інформаційні сигнали передаються до абонентських пристроїв через вхідну електромережу 0.4кВ/220В ~50-60Гц. Передача інформаційних потоків по електричним лініям, по технології PLC, відбувається по централізованій ієрархічній структурі: від центрального вузла до проміжного (розподільчої станції), а в кінці – до кінцевого абонентського пристрою. Центральний комутатор PLC в свою чергу з'єднаний волоконно-оптичним кабелем до магістралі глобальної мережі WAN або до регіональної мережі MAN. Основою технології HomePlug (PLC) є магістральний (рис. 4, а) та кінцевий (рис. 4, б) вузли мережі PLC [6], які виконують функції комутатора мережі та шлюзу із абонентськими пристроями, і встановлюється із розрахунку на одну зону обслуговування з N – кількістю користувачів.

Кінцевий вузол мережі PLC представлений в у вигляді абонентського модему, який працює на принципі частотного розділення каналів FDM (Frequency Division Multiplexing) на базі стандартів ADSL, XDSL чи VDSL [7]. Кінцеве абонентське обладнання яким вважається модем PLC (Power Line Communication) реалізує інтерфейс для зв'язку з персональними комп'ютерами ПК через інтерфейси користувача USB або Ethernet. Вхід такого модему підключається до побутової електромережі – 220В.

Технологія HomePlug є першою промисловою технологією, у якій було застосовано принципи об'єднання окремо існуючих інформаційних комунікацій і мереж з поширеною електроенергетичною мережею.

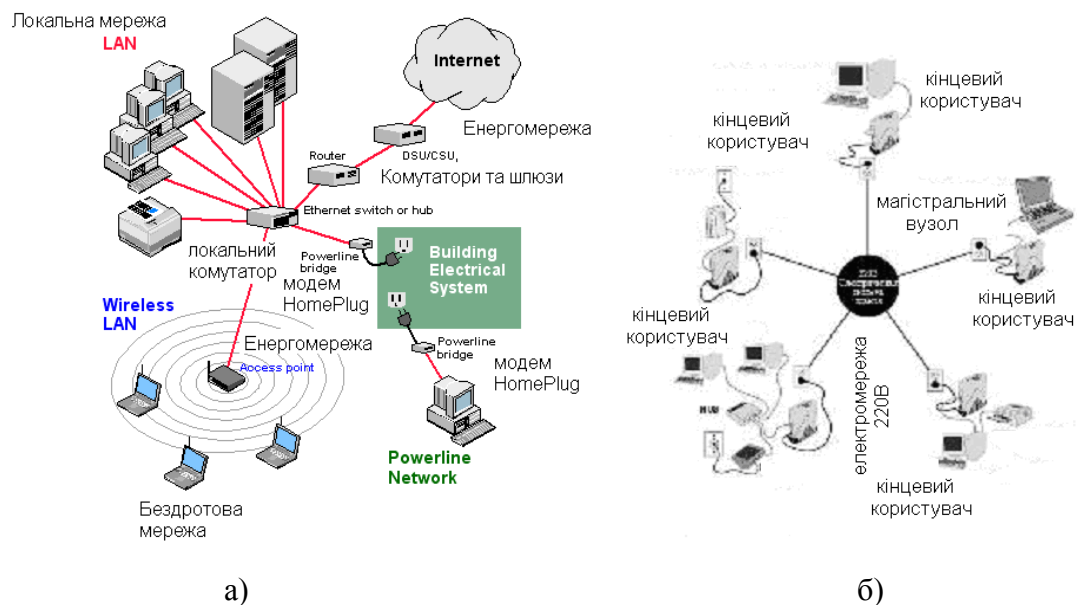


Рис. 4. Вузли мережі HomePlug [7]: а)магістральний та б)кінцевий

Стандарт HomePlug реалізує принцип множинного доступу “точка - множина точок” і може бути ефективно застосована як засіб підвищення стабільності передавання і оброблення інформаційних потоків у комп’ютерних ІМ. Але вона не вільна від вагомих недоліків:

- значний рівень завад в інформаційних каналах, які викликані частотними гармоніками в сумішених з ними каналах електромережі;
- недостатня швидкодія (10-100Мбіт/с) за рахунок обмеженості смуги частот в недосконалих електричних каналах промислової електроенергетичної мережі 220В 50Гц, яка по цільовим функціям не призначена для передачі інформації;
- порівняно низький рівень стабільності передачі і обробки інформаційних потоків. Це викликано ієрархічною структурою передачі енергетичних потоків живлення інформаційного обладнання від одного джерела електромережі (принцип вертикального розподілу електроенергії від центральних енергостанцій).

Також обмежуючим фактором по впровадженню стандарту HomePlug є максимальна дальність передачі інформації (на рівні 1-2км [6]), яка залежить від рівня завад у електромережі ~220В.

Тому такі технології, враховуючи останні два недоліки значно ускладнює використання її як фізичної мережі – для побудови ГІЕМ моніторингу і передавання інформаційних потоків та геоінформації з метою підвищення стабільності і розширення функціональних можливостей.

Другим видом каналів спільного передавання інформації та енергії є технологія PoE (Power over Ethernet), яка дозволяє здійснювати інтегровану об’єднану передачу даних та електричної енергії (напруга живлення складає 48В) до кінцевого обладнання мережі. Концепція технології PoE є досить простою: з’єднані в мережу компоненти, наприклад, точки доступу WLAN; проміжні ретранслятори RtE; IP Web-камери; мережеві комутатори Net Switch отримують енергію живлення з робочою напругою $V_T=48В$ (є варіант на 24В) за стандартним кабелем Ethernet (рис. 5). Перевагами такого підходу є підвищення надійності роботи підключених мережних компонентів та проміжних вузлів, а також зниження витрат на експлуатацію інфраструктури. Можливості та переваги технології PoE реалізуються для забезпечення доступу в мережу Internet в «проблемних точках», наприклад: літаках, поїздах, аеропортах, театрах, або в інших громадських місцях.

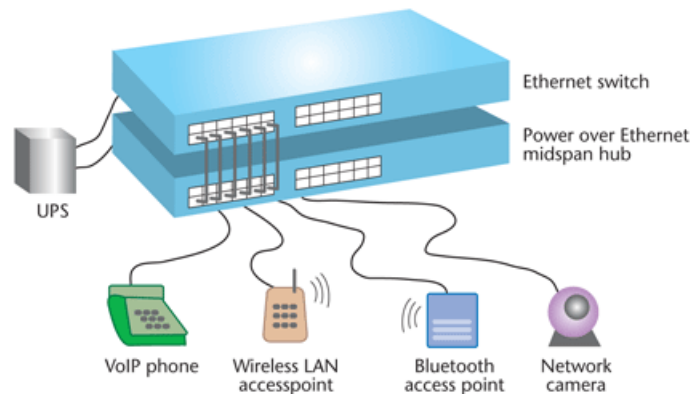


Рис. 5. Приклад підключення абонентських пристроїв до мереженого комутатора PoE Switch по технології Power over Ethernet

Стандарт PoE по специфікації 802.3af передбачає установку двох типів пристроїв, що використовуються для подачі напруги живлення (Power Sourcing Equipment – PSE): 1) функціонально закінчених (End-Span); 2) допоміжних (Mid-Span). Пристроями End-Span є комутатори Ethernet з інтегрованою технологією подачі напруги живлення через локальну мережу. Пристрої Mid-Span є концентраторами Power Over Ethernet із кількістю портів від 6 до 24. Вони встановлюються між комутатором Ethernet і кінцевими пристроями: точками доступу WLAN або Bluetooth, телефонами для передачі голосу по IP-мережах (VoIP) або Web-камерам. Кожен канал передачі допоміжного пристрою володіє одним портом для прийому даних і комбінованим виходом RJ45 для передачі даних і напруги живлення. Сила струму середньостатистичного вузла (при номінальному значенні постійної напруги – 48 В) обмежена величиною 350 мА, що відповідає діючому стандарту безпеки та вимогам. Тобто максимальне значення повної електричної потужності складає $P = U \cdot I = 48 \times 0.35 = 16.8 \text{ VA}$ що передаються по кабельним провідникам Ethernet. Загальна споживана потужність досягає приблизно 13 Вт, і може бути виміряна на кожному вузлі мережі. При цьому в розрахунок вже прийнятий витік струму в кабелі довжиною до 100 м. Бездротові локальні обчислювальні мережі та Web-камери споживають приблизно від 3.5 до 9 Вт потужності. Технологія PoE була розроблена на основі стандартів HomePNA, який передбачав передачу голосових даних та напруги живлення кінцевих апаратів в телефонних лініях. Але для застосування в сучасних мережах Ethernet, технологія HomePNA стала не прийнятною по технічних показниках швидкості та дальності інформаційного зв'язку. Конкуренцію стандарту PoE могла скласти технологія комп'ютерних з'єднань USB (Universal Serial Bus), яка також виконує функції передачі електроенергетичного живлення до портативних пристроїв ПК із робочою напругою 5В. Але якщо порівняти технології PoE та USB по технічним показникам (табл. 2), то можна зробити висновок, що використання технології USB обмежено побутовими застосуваннями, а PoE є повноцінним промисловим стандартом із вищими технічними характеристиками.

Таблиця 2.

Порівняння параметрів технологій PoE та USB

Технічні показники технології	PoE	USB
Довжина кабелю, м	До 5	120-150
Макс. Потужність споживання Ethernet – приладів, Вт	2.5	15
Швидкість передачі, Мбіт/с	11	1000
Міцність ізоляції, В	1500	1500
Напруга живлення, В	48	5
Максимальний робочий струм, А	0.35	0.5
Максимальна бітова швидкість даних для версій 2.0	10 Гбіт/с	480 Мбіт/с

Розглянуті варіанти інтеграції зв'язку у енергетичні канали електромереж, відносяться скоріше до частинних випадків створення каналів інформаційно-енергетичних мереж, оскільки вони не можуть виконувати інтелектуальне управління інформаційно-енергетичними ресурсами та відповідати зростаючим об'ємам інформації, що передається на рівні мережених магістралей.

В якості третього типу промислових технологій ГІЕМ можна розглянута інтелектуальні електроенергетичні мережі Smart Grid [8, 9]. Ця технологія в промисловому сегменті виникла достатньо нещодавно в США та передбачає організацію інтелектуальних багатофункціональних електромереж із функціями передачі інформаційного трафіку та інтерактивним керуванням складовими таких мереж. В

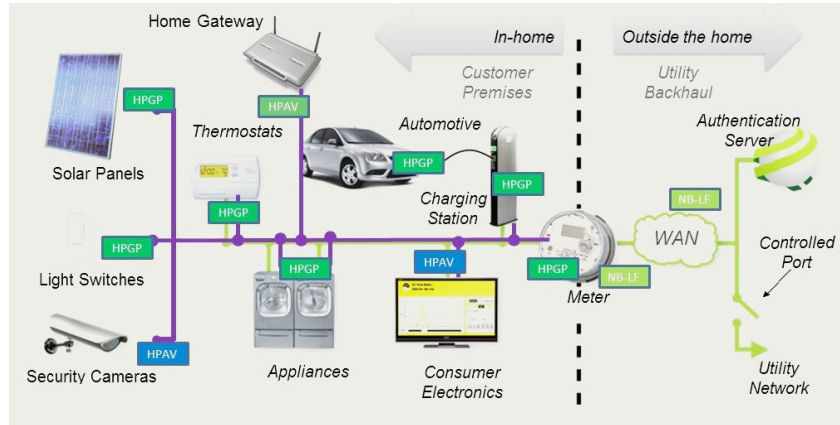


Рис. 7. Структура ІМ на базі технології Smart Grid на базі розподілених фотоелектричних джерел, яка об'єднує різноманітні інформаційні сервіси із функціями енергозбереження та інтелектуального управління розподілом енергії [9]

В структурі мережі (рис. 7) передбачено також забезпечення функцій телеметрії, дистанційного моніторингу, відео спостереження та передавання потоків відеотрафіку по волоконно-оптичним каналам із максимальною швидкістю для оптоволоконних технологій (від 100 Мбіт/с на канал для багатомодового оптоволокна у кінцевих абонентських сегментах, до 120 Гбіт/с в магістральних і проміжних сегментах інформаційної мережі). Використання сонячних батарей в різних сегментах дозволяє досягти високої інформаційної стабільності ІМ.

Але якщо технологія волоконно-оптичних каналів в мережах Smart Grid є достатньо ефективним інструментом підвищення інформаційної пропускної здатності мережі, то використання фотоелектричних джерел енергії на базі традиційних промислових типів фотоелементів на базі кремнію дозволяє досягти ефективності використання енергії тільки на рівні 18-20% [23]. Тому потрібен пошук нових шляхів підвищення ефективності розподілених джерел енергії в складі архітектури Smart Grid.

Також промисловими варіантами ПІЕМ є «Автоматизована геоінформаційна система моніторингу волоконно-оптичних телекомунікаційних мереж» [10], та «Геоінформаційна система моніторингу розподіленої газотранспортних мереж» [11]. В першій системі закладені основи інформаційної розподіленої мережі з географічно-рознесеними датчиками, яка здійснює моніторинг телекомунікаційних мереж на базі ВОЛЗ на території декількох країн СНД (Україна, Росія та Казахстан). Принцип дії такої розподіленої інформаційної системи базується на передаванні інформаційних потоків від енергетично автономних сенсорів, які здійснюють вимірювання параметрів фізичної ВОЛЗ в різних її ділянках на території країн. В кінцевій стадії процесу функціонування дані про стан телекомунікаційних мереж та окремих ділянок ВОЛЗ передаються в головний інформаційний центр із забезпеченням функцій інтерактивного контролю і моніторингу параметрів. Такий варіант дозволяє максимально оптимізувати процес роботи всієї телекомунікаційної мережі. Ця система є складною і значно розподіленою на великій площі. До технічних апаратних блоків висуваються максимальні умови по стабільності роботи і інформаційні пропускні здатності.

До недоліків цієї мережі відносяться відсутність передачі мультимедійного інформаційного трафіку та функцій відеоспостереження. В такій системі використовуються окремі або централізовані джерела електричного живлення інформаційних систем комунікації та блоків сенсорів. Але використання альтернативних відновлювальних джерел – фотоелектричних батарей дозволило б підвищити технічні характеристики, зокрема час автономної роботи та як наслідок підвищити стабільність роботи підсистем ГІС волоконно-оптичних телекомунікаційних мереж.

Інша система [11] має подібну архітектуру і склад компонентів, відмінність складає тип використаних сенсорів і цільове призначення – моніторинг параметрів газотранспортних систем (ГТС). Сенсори використовуються для моніторингу основних параметрів газотранспортної системи: тиску, об'єму газу, що транспортується в розподіленій і просторово-рознесеній Міжнародній газовій системі на території країн СНД та східної Європи. Структура системи аналогічна до першої, інформаційні потоки з технічними параметрами у вигляді сигналів з прив'язкою до географічних координат надходять у головний інформаційний центр від окремих вузлів ГТС. В головному інформаційному центрі здійснюється моніторинг та автоматизований зворотній контроль ГТС. Ця мережа є вузькоспеціалізованою і призначена на вузько орієнтовані стратегічні задачі.

Недоліки цієї системи аналогічні до першої: вузькі функціональні можливості та недостатній рівень стабільності через неможливість повного автономного енергозабезпечення віддалених блоків датчиків від альтернативних джерел. І перша і друга мережі ГІС на фізичному рівні магістралі основані на

волоконно-оптичних мережах, що обумовлює потенційно високі значення пропускної здатності каналів.

Хоча ці типи ГІС успішно функціонують вже тривалий час та виконують стратегічні завдання, вони мають вузькоспеціалізовані функціональне призначення та не можуть використовуватись в загальнодоступних задачах в якості інформаційних мереж.

Також існує технологія моніторингу стану залізничних доріг на базі системи передачі інформаційних даних від телеметричних сенсорів по лініям електропередачі контактної мережі залізниці (СПТД-ЛЕП) [12]. Структура розподіленої мережі має ієрархічний характер і подібна до двох вищезазначених розробок. Цільовим призначенням цієї інформаційної мережі, також побудованої на базі ГІС є моніторинг стану залізничних шляхів та передача інформації про положення залізничних транспортних составів. Дана система здійснює передачу будь-якої телеметричної інформації по високовольтним (3-27кВ) та низьковольтним (0,4 кВ) лініям електропередачі ЛЕП. Система складається з контрольного блоку, розподілених блоків сенсорів та центрального блоку пункту керування, кожен із яких підключається до ЛЕП електричної мережі, через які здійснюється передавання інформації.

Для всіх приведених розробок орієнтована дальність передавання без регенерації складає в межах 70-150 км, а інформаційна швидкодія знаходиться в межах від 0.3Мбіт/с (остання мережа на базі ГІС моніторингу залізничних составів) до 10Гбіт/с (на канал в середньому) для перших двох мереж на базі ГІС моніторингу транспортної мережі ВОЛЗ та ГТС.

Розглянуті варіанти інтеграції інформаційних сервісів і розподілених мереж інформаційного моніторингу і передавання наряду із енергетичним живленням відносяться до розробок інформаційно-енергетичних технологій створення ГІЕМ. Окремі варіанти сегментів таких мереж мало придатні для організації інформаційного обміну та функціоналу.

На концептуальному рівні існують науковою школою проф. Кожем'яко В.П. розроблені ідеологічні засади створення геоінформаційно-енергетичних мереж на базі об'єднаних варіантів інформаційного та енергетичного провідників – бінарних провідників. Ці варіанти мереж передбачають об'єднання інформаційних апаратних ресурсів (сервери, кінцеві користувачі, комутатори та ін.) та енергетичних (лінії передавання електроенергії, проміжні вузли, трансформатори, тощо). Серед таких ГІЕМ є: 1.) Оптико–електронна інформаційно–енергетична система тотального тестування і оптимального управління науково–освітнянськими і бібліотечними ресурсами [13]; 2.) Оптико-електронна інформаційно-енергетична система управління інфраструктурою регіону [14]; 3.) Оптико-електронна інформаційно-енергетична система біомедичного призначення [15]. Детально ці розробки розглянуті і проаналізовані в [16]. В результаті аналізу розробок ГІЕМ та технологій організації мереж отримані їх основні технічні показники наведені в таблиці 4.

Відмінність у організації ГІЕМ (табл. 3) полягає у цільовому призначенні і можливості масштабування мереж на фізичному рівні каналів. Кількість інформаційно-енергетичних зв'язків системи визначається кількістю магістральних елементів системи, користувачів та периферійних пристроїв введення-виведення.

Для передавання інформації по каналах ВОЛЗ у ІМ через кожні 30-120км необхідно встановлювати ретрансляючі станції [2], які підсилюють постійно згасаючі інформаційні сигнали. Ці ретрансляційні (регенеративні) системи є активними компонентами інформаційних мереж, оскільки потребують додаткового живлення. Поєднавши інформаційні канали з енергетичними та використання розподілених віддалених джерел автономно енергетичного живлення, можна підвищити надійність роботи інформаційної мережі, за рахунок зменшення ймовірності відключення енергопостачання на окремих ділянках. В останні роки перспективним є впровадження даної технології в повсякденне життя, і створення нового напрямку в області світові комунікації – геоінформаційно-енергетичних мереж. На рис. 8 представлено зображення перерізу інформаційно-енергетичного провідника (бінарного провідника. На базі таких провідників концептуально побудовані більшість каналів ГІЕМ.

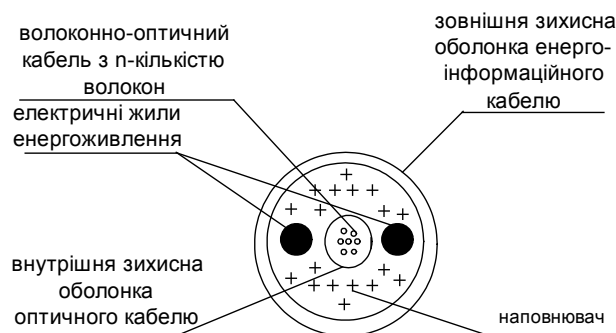


Рис. 8. Зображення поперечного перерізу бінарного провідника ГІЕМ [17]

Таблиця 3.

Параметри основних аналогів геоінформаційно-енергетичних мереж

Назва інформаційно-енергетичної системи	Типи можливих топологій мережі	Тип каналів, які застосовуються та максимальна швидкість передавання інформації в N – канальній мережі	Можливість підвищення стабільності за рахунок розподілу автономного енергетичного живлення	Недоліки та потенційні проблеми	Тип, призначення ІМ, вузли
1. ГІЕМ тотального тестування і оптимального управління науково –освітніми і бібліотечними ресурсами	змішана, шиноподібна, деревоподібна	бінарний провідник, ВОЛЗ до 120Гбіт/с в магістралі, до 10Гбіт/с в кінцевих сегм.	відсутня	низька інформаційна стабільність за рахунок відсутньої енерг. автономності у кінцевих сегментах	ієрархічна, заг. призн. ($N_v, N_d > 10$)
2. ГІЕМ управління інфраструктурою регіону	змішана, шиноподібна, зіркоподібна	бінарний провідник, ВОЛЗ до 120Гбіт/с в магістралі,	відсутня	- / -	- / -
3. ГІЕМ біомедичного призначення	змішана, зіркоподібна	бінарний провідник, канали радіо доступу до 1Мбіт/с	часткова (з використ. живлення кінцевих пристроїв)	- / -, низька швидкість передавання радіоканалом	- / -
4. ГІЕМ інформаційно-енергетичної інфраструктури регіону (міста)	деревовидна, змішана	бінарний провідник до 120Гбіт/с в магістралі	відсутня	- / -	- / -
5. Мережі на базі PLC-каналів і промислового стандарту HomePlug	деревовидна, зіркоподібна, шиноподібна	електроенергетичні канали промислових мереж 0.22 /10кВ 50Гц, до 10Мбіт/с	часткова (з використ. живлення кінцевих пристроїв)	- / -, низька швидкість передавання радіоканалом у кінц. сегментах	ієрархічна, заг. призн. ($N_v, N_d > 100$)
6. Мережа на базі стандарту PoE	шиноподібна	Ethernet канали на базі провідників з роз'ємами RJ -24В-48В 0.35А	часткова (з використ. живлення кінцевих пристроїв)	- / -, низька швидкість передавання каналами на бази виті пари, обмежені значення енергії	ієрархічна, заг. призн. ($N_v, N_d > 24$)
7. Мережі на базі компл. технологій SmartGrid	змішана, зіркоподібна, граткоподібна	електроенерг. канали 0.22 /10кВ 50Гц, ВОЛЗ до 120- 200Гбіт/с в магістралях ВОЛЗ	наявна (за рахунок розподілених джерел)	Необхідність підвищ. ККД розподілених джерел та оптимізації структури мережі	розподілена, заг./спец. призн. спеціального ($N_v > 200$)
8. Апаратні мережі геоінформаційних систем моніторингу розподілу мереж телекомунікацій та ГТС	змішана, шиноподібна	інформаційні електричні канали, ВОЛЗ до 10-100Гбіт/с в каналах ВОЛЗ	відсутня	низька швидкість, необхідність підвищення енергетичної автономності кінцевих вузлів	ієрархічна, спец. призн. ($N_v > 10^3, N_d > 100$)

* N_v – кількість вузлів; N_d – кількість пристроїв та комутаторів мережі.

Структура каналу(рис. 8) являє собою поєднання волоконно-оптичного кабелю із звичайними електропровідними лініями, поміщеними в зовнішню захисну оболонку з наповнювачем. Існують варіанти із одним металевим провідником. Іншим енергетичним провідником (для передавання електроенергії традиційними шляхами необхідно мінімум 2 провідники) слугує безпосередньо земля, або інший підвісний трос. Істотною перевагою такої структури бінарного провідника (рис. 7) є відсутність взаємних негативних впливів при передачі інформації та енергії одночасно [1], так як фізичні явища, що використовуються мають відмінну фізичну природу і електричний струм не впливає на світлові сигнали. Звісно до таких структур пред'являються достатньо високі технічні вимоги, зокрема по механічній міцності, максимальному радіусу згину, опору електричної ізоляції, умов експлуатації оптичних волокон.

Використання способу підвищення стабільності процесу передачі інформації у ГІЕМ та способу підвищення дальності передачі інформації (понад 100-150 км) завдяки забезпеченню автономного живлення ретрансляторів ВОЛЗ, представлено на рисунку 9.

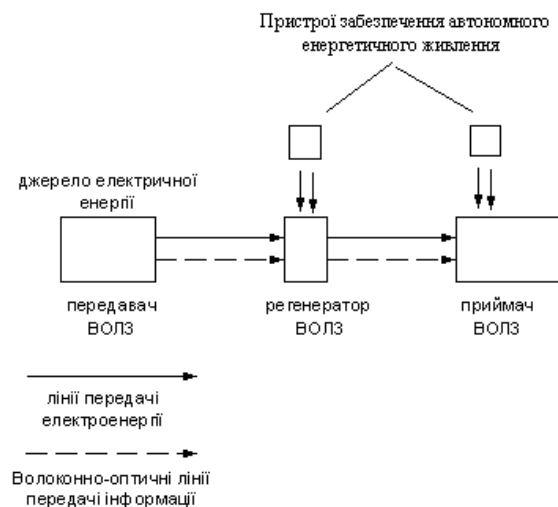


Рис. 9. Структура ланки ГІЕМ з високою дальністю передачі інформації за рахунок організації високо стабільного та автономного енергетичного живлення

Використання поєданого варіанту енергетичного живлення: від електроенергетичних передавальних ліній мережі ГІЕМ та від систем автономного живлення дозволяє принаймні вдвічі підвищити стабільність енергетичного забезпечення, а й отже – стабільність функціонування всієї мережі. Це є дієвим способом підвищення надійності в критичних сегментах і місцях сучасних мереж із високою конфіденційною та важливою інформацією. Енергетичного. В структурі (рис. 9) можливим є також забезпечення живлення й самої приймальної станції ВОЛЗ(при забезпеченні умов передачі електричної енергії з високим відсотком ККД >95%).

КЛАСИФІКАЦІЯ ГІЕМ НА БАЗІ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ КАНАЛІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ І ПЕРЕДАВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЇ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДЛЯ ЇХ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕНЬ

У роботі [18] було розроблено першу класифікацію геоінформаційно-енергетичних мереж (рис. 10), на основі якої в результаті подальших досліджень в роботах [16, 19] запропонована більш досконала і наочна класифікація ГІЕМ (рис. 10), яка також враховує класи активних оптичних елементів та апаратну реалізацію ГІЕМ.

За функціональними можливостями і поширеністю ГІЕМ поділяють на відкриті для розширення та доповнення та закриті. За територіальним охоптом класифікують глобальні ГІЕМ, загальнонаціональні ГІЕМ, регіональні, локальні та муніципальні ГІЕМ. Згідно [18], за цільовим використанням ГІЕМ поділяються на багатоцільові, інформаційно-довідкові, моніторингові, інвентаризаційні, дослідницькі, учбові, видання рішень, та ін. За проблемно-тематичною орієнтацією ГІЕМ класифікують на екологічні та природнопізнавальні, соціально-економічні, земельно-кадастрові, геологічні, муніципальні, надзвичайних ситуацій, навігаційні, транспортні, торгівельно-маркетингові, археологічні та ін.

У роботі [19] наведена більш наочна класифікація ГІЕМ. У ній ГІЕМ поділяють на мережі забезпечення масового доступу кінцевих користувачів інформаційними та енергетичними сервісами, а у закритих ГІЕМ забезпечення сервісами виконується для визначеного числа користувачів.

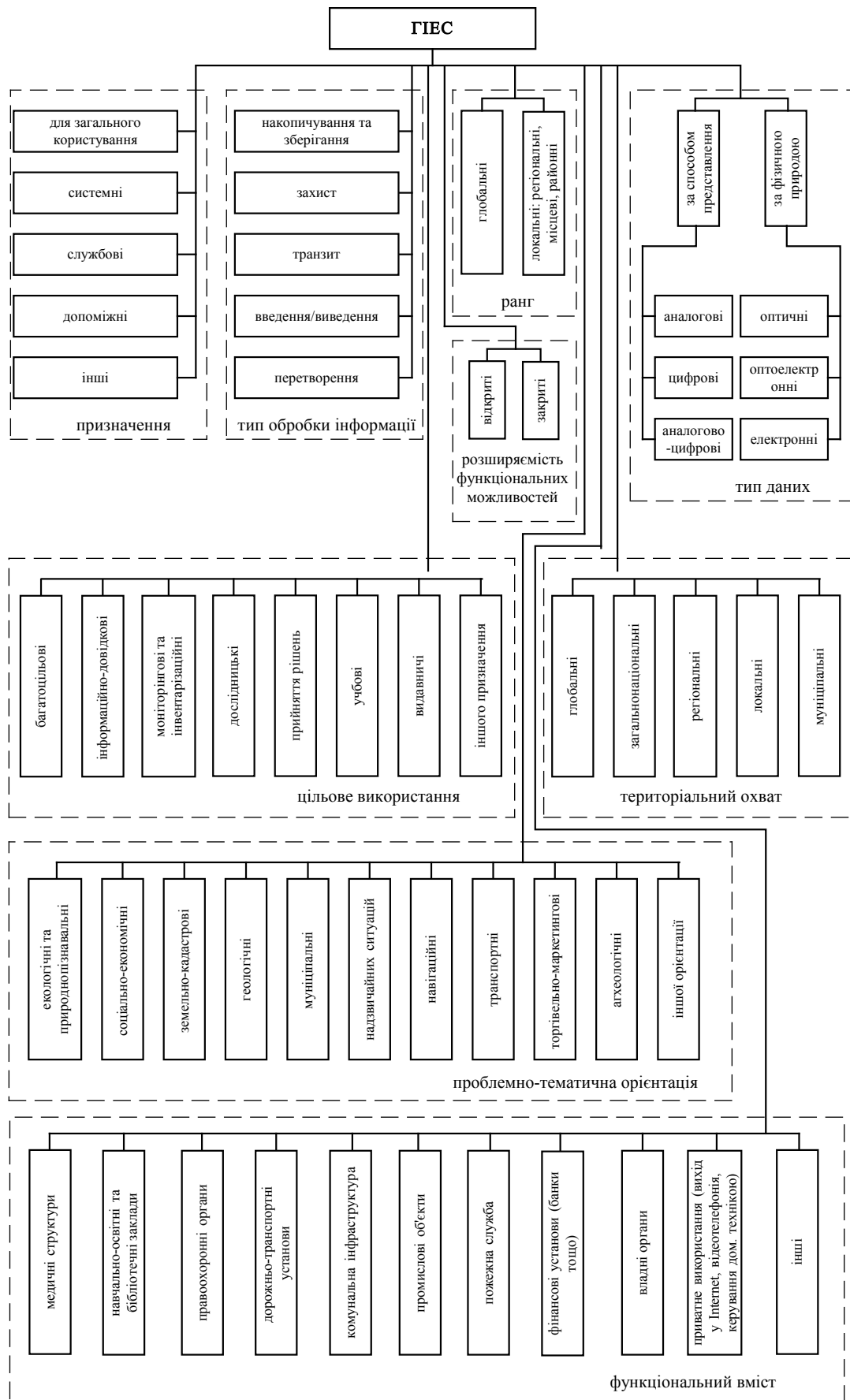


Рис. 10. Класифікація ГІЕС [18]

За територіальним обхватом ГІЕМ поділяють на глобальні і зонні. Відповідно до зонних входять локальні ГІЕМ, регіональні ГІЕМ, а також ГІЕМ міста та району. Глобальні ГІЕМ охоплюють значні за обсягом географічні території. За типом топології ГІЕМ поділяються: ГІЕМ гнучкої топології (масштабовані ГІЕМ), ГІЕМ жорсткої топології. Аналогічно, ГІЕМ класифікуються за типом архітектури: гнучкої архітектури, ГІЕМ жорсткої архітектури. Гнучкість топології чи архітектури визначає можливість розширення ІЕМ як по кількості підключень нових вузлів, користувачів чи інших мереж, так і по кількості нових функціональних можливостей.

У [18] ГІЕМ також класифікують за такими ознаками як функціональний вміст, тип даних, ранг, тип обробки інформації, призначення, потенціал розширення функціональних можливостей, територіальне охоплення, цільове використання, проблемно-тематична орієнтація.

За призначенням ГІЕМ може бути загального користування, системного, службового, допоміжного користування, та ін. За типом обробки інформації ГІЕМ виконує функції накопичування та зберігання інформації на серверах ГІЕМ, захисту, транзиту, введення/виведення та перетворення інформації [18]. За рангом [18] ГІЕМ може бути як глобальною системою людства, так і локальною у межах регіону, міста, району і т.д. Об'єднання таких локальних мереж створюватиме єдину глобальну ГІЕМ. Класифікація ГІЕМ за фізичною природою носіїв та типами каналів передавання інформації наведена в [19] (рис. 11).

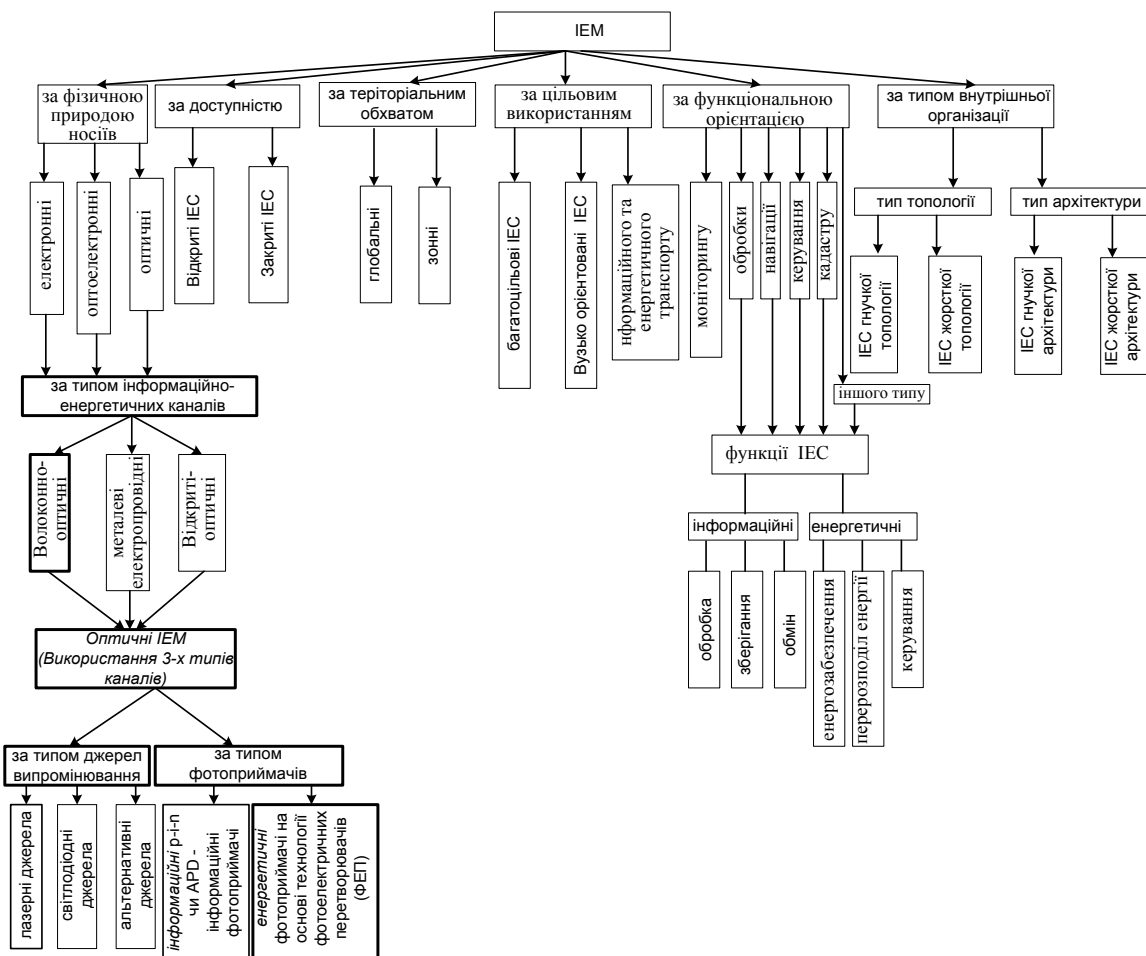


Рис. 11. Класифікація ГІЕМ [19]

Згідно цільового використання, ГІЕМ у [19] поділяють на багатоцільові та вузькоорієнтовані. Багатоцільові ГІЕМ орієнтовані на виконання деякого числа задач та водночас передачі інформації. Вузькоорієнтовані ГІЕМ призначені для виконання невеликого числа спеціалізованих задач.

За функціональною орієнтацією у [19] ГІЕМ поділяються на: транспортні мережі, моніторингу, навігації, обробки, кадастру, керування та ін. Основні функції, які виконують ГІЕМ, також можуть бути класифіковані по базовому набору [19] а) інформаційні функції: обробка, зберігання, обмін; б) енергетичні функції: забезпечення та перерозподіл енергії.

По фізичній природі носіїв ГІЕМ класифікують [19] на електронні, оптичні та оптико-електронні. Обчислювальні структури ГІЕМ також підпадають під дану ознаку класифікації: оптичні,

господарства.

Перспективи створення ОІЕМ обумовлюються застосуванням засобів високошвидкісного оброблення і передавання на основі паралельних методів, з одночасним забезпеченням енергетичної автономності їх роботи. Технології застосування волоконно-оптичних інформаційних каналів та високопродуктивних комп'ютерів досліджені у роботах [13-17, 19]. Великий науковий інтерес представляє дослідження та розробка моделі ГІЕМ на базі розподілених фотоелектричних джерел енергії від сонячного випромінювання, а також нових способі підвищення стабільності передавання інформації у волоконно-оптичних каналах та структурі мережі.

Враховуючі аналіз вимог та технологій спільного інформаційно-енергетичного обміну, можна сформулювати вимоги до ГІЕМ моніторингу і передавання даних земельних ресурсів:

- широка загальнодоступність та розповсюдженість каналів мережі та інтерфейсів підключення;
- можливість стабільного передавання даних у мережі для широкого спектра задач у ряді галузей народного господарства в т.ч. для моніторингу і передавання даних земельних;
- високошвидкісний, якісний та стабільний обмін великими об'ємами геоінформації на значні відстані без регенерації сигналів (волоконно-оптичні лінії зв'язку);
- сумісність стандартів і протоколів з інформаційними мережами та системами інших типів;
- висока енергетична автономність інформаційно-енергетичного обладнання та як наслідок – висока стабільність;
- паралельна високопродуктивне оброблення та високошвидкісне передавання геоінформаційних даних у електронному та оптичному форматі;
- забезпечення завадостійкості передачі інформації в системі завдяки використанню завадостійких методів перетворення та передавання.

На основі проведеного аналізу відомих технологій у сфері ГІЕМ можна стверджувати, що основними проблемами є: низька стабільність та завадозахищеність передавання інформації в каналах мережі, що призводить до збоїв в їх роботі; висока вартість апаратури та значне її нагромадження.

ВИСНОВКИ

В роботі проаналізовано сучасні технології побудови волоконно-оптичних мереж, а також прогресивні тенденції розвитку напрямку оптичних мереж нового покоління – геоінформаційно-енергетичних мереж. В результаті аналізу систематизовані технічні показники останніх розробок інформаційно-енергетичних мереж і волоконно-оптичних каналів. Проведено класифікаційний аналіз ГІЕМ, в результаті якого було вдосконалена існуюча класифікація ГІЕМ, що враховує нові ознаки по показниками апаратного забезпечення. Закладені передумови створення нової моделі інформаційних мереж з автономним енергетичним живленням, які базуються на розподілених альтернативних фотоелектричних джерелах енергії та мають вищу апаратну стабільність роботи.

Для вирішення завдання підвищення інформаційної стабільності сучасних мереж, встановлено, що у їх кінцевих і проміжних сегментах повинно бути реалізовано автономне живлення на базі альтернативних джерел енергії – сонячних концентраторних фотоелектричних джерел (CPV) у поєднанні із технологією спектральної трансформації довжин хвиль. Це дозволить підвищити енергетичну автономність, яка є критерієм і гарантією високої інформаційної стабільності мереж. Кінцеві пристрої перетворення та постачання енергії від сонячного випромінювання на базі технології спектротрансформатора і концентраторної фотовольтаїки дозволять вирішити ці задачі, та в поєднанні із технологією волоконно-оптичних каналів побудувати модель універсальної високостабільної геоінформаційно-енергетичної мережі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Оптико-електронна геоінформаційно-енергетична система, як глобальний засіб гармонійного вирішення проблем розвитку цивілізації / В. П. Кожем'яко, С. С. Білан, О. В. Кожем'яко, А. В. Кожем'яко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2004. – №2(8), С. 5 – 10. – ISSN 1681-7893.
2. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб: Издательство "Питер", 1999. – 672с.
3. Антонов В.М. Сучасні комп'ютерні мережі / В. М. Антонов. – Київ, «МК-Прес», 2005. – 478С.
4. Убайдулаев Р.Р. Волоконно-оптические сети [Текст] / Р. Р. Убайдулаев. – М.: Эко-Тренз, 1998. – 268 с. – ISBN 5-88405-023-2.
5. Куусуль Н.Н. Grid-системы для задач исследования Земли. Архитектура, модели и технологии: [Монографія] / Н. Н. Куусуль, А. Ю.Шелестов. – К.: "Наукова думка", 2008. – 452 с.
6. Коноплянський Д.К. PLC - передача данных по электрическим сетям. Последняя миля / Д.К. Коноплянський // Вестник связи. – 2004. – № 5. – С. 5-7. – ISSN 0320-8141.

7. Никифоров А. В. Технология PLC — телекоммуникации по сетям электропитания / А. В. Никифоров // Сети и системы связи. – 2002. – № 5. – С. 15-23. – ISSN 1605-5055.
8. Ben Carlin. European standards organisations make progress towards Smart Grid standards and reference architecture / Materials of Preparing the electricity networks of the future – CEN, CENELEC and ETSI have presented two interim reports to the European Commission. Brussels, 9 March 2012 // Communication UnitCEN-CENELEC Management Centre. [Електронний ресурс]. – Тип доступу World Wide Web: http://www.cenelec.eu/news/press_releases/Pages/PR-2012-04.aspx
9. Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments Vincenzo Giordano, Flavia Gangale, Gianluca Fulli (JRC-IE), Manuel Sanchez Jimenez (DG ENER) and Other JRC-IE contributors: [Materials of JRC European Commission] // Luxembourg: Publications Office of the European Union. – 118p.
10. Науково-виробнича фірма "ГРИС" «Автоматизована геоінформаційна система моніторингу волоконно-оптичних телекомунікаційних мереж» (ГИС «Волоконно-оптические сети» система паспортизації): [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://gris.com.ua/?id=114&lan=ru>
11. Васильев М.И. Геодезическое позиционирование магистральных газопроводов. Создание ГИС газотранспортной сети (Geodetic positioning of gas-main pipelines with GIS): [Матеріали ООО «Газпром трансгаз-Кубань», НПК «Бюро Кадастра Таганрога»] / Васильев М.И., Симоньянц Н.П. – Сибирьсвет, 2012. – 32с.
12. Система передачи телеметрических данных по линиям электропередач: [Електронний ресурс] / Электронные системы, 2005, Режим доступу: World Wide Web, <http://datapowersystem.com>.
13. Оптико–електронна геоінформаційно–енергетична система тотального тестування і оптимального управління науково–освітніми і бібліотечними ресурсами для створення і розвитку централізованої бази знань / В. П. Кожем'яко, О. Г. Домбровський, І. Д. Івасюк, О. В. Шевченко, С. В. Дусанюк, С. С. Білан, А. В. Кожем'яко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2005. – №1(9). – С. 5-11.
14. Кожем'яко В. П.. Оптико-електронна геоінформаційно-енергетична система управління інфраструктурою регіону / В. П. Кожем'яко, О.А.Бойко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2007. – №1(13). – С. 176 - 180.
15. Кожем'яко В. П.. Оптико-електронна геоінформаційно-енергетична система біомедичного призначення / В. П. Кожем'яко, С.В. Павлов, О. В. Шевченко, В. В. Дмитрук // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. №2(12). – С. 192 - 196.
16. Маліновський В. І. Аналіз сучасного стану розвитку геоінформаційно-енергетичних технологій / В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2008. – №1(15). – С. 86-99.
17. Кожем'яко В.П. Принципи побудови та структурна організація каналів для повністю оптичних геоінформаційно-енергетичних мереж / Кожем'яко В.П., Маліновський В.І. // Вісник ВПІ.-2008.-№1-С.95-101.
18. Шевченко О.В. Паралельно-ієрархічні методи передачі та обробки інформації у автоматизованій геоінформаційно-енергетичній системі: дис.канд.техн.наук: спец.0513.06 / Шевченко Ольга Вікторівна.-К., 2006.171 с.
19. Маліновський В. І. Інформаційна мережа з об'єднаними оптичними інтерфейс-каналами: дис. канд. техн. наук: 05.13.05 / Маліновський Вадим Ігоревич. – Вінниця, 2010. – 193с.
20. Маліновський В. І. Моделі волоконно-оптичних інтерфейс-каналів геоінформаційно-енергетичних мереж / В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2009. – № 1(17). – С. 179-193.

Надійшла до редакції 12.10.2013р.

КОЖЕМ'ЯКО В.П. – д.т.н., професор, академік АІНУ, завідувач кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

МАЛІНОВСЬКИЙ В.І. – к.т.н., науковий співробітник, ст. викладач кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

ТАРНОВСЬКИЙ М.Г., – к.т.н., доцент кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

ЯРОСЛАВСЬКИЙ Я.І. – здобувач кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.